

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-321080

(43)Date of publication of application : 05.11.2002

(51)Int.Cl.

B23K 26/04  
B23K 26/00  
B81C 5/00

(21)Application number : 2001-125851

(71)Applicant : TOKYO INSTRUMENTS INC  
KANAGAWA ACAD OF SCI &  
TECHNOL

(22)Date of filing : 24.04.2001

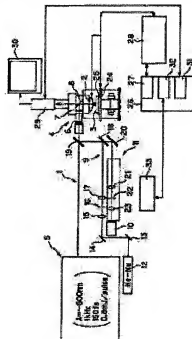
(72)Inventor : VANAGAS EGIDEIYUSU  
KUDRYASHOV IGOR  
SURUGA MASAJI  
KOSHIHARA SHINYA

## (54) AUTOMATIC FOCUSING APPARATUS FOR LASER PRECISION PROCESSING

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve laser-processing accuracy in a laser precision processing by making a focal point of a laser beam closely correspond to the processing position on a work.

**SOLUTION:** The apparatus is provided with a laser processing optical system 4 that condenses the processing laser beam 1 through an object lens 2 to irradiate the work 3, and a common focus optical system 11 that condenses measuring laser beam 9 through the object lens 2 to irradiate the work 3 and detects the reflected light through a detector 10. The work 3 is traveled by a XYZ stage 24 and the position where the output from the detector 10 becomes a maximum is defined as the focussed position for each point on the work 3.



(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-321080

(P2002-321080A)

(43) 公開日 平成14年11月5日 (2002.11.5)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
B 2 3 K 26/04		B 2 3 K 26/04	C 4 E 0 6 8
26/00		26/00	M
B 8 1 C 5/00		B 8 1 C 5/00	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-125851(P2001-125851)

(22) 出願日 平成13年4月24日 (2001.4.24)

(71) 出願人 395023080

株式会社東京インスツルメンツ

東京都江戸川区西葛西 6 丁目18番14号

(71) 出願人 591243103

財団法人神奈川科学技術アカデミー

神奈川県川崎市高津区坂戸 3 丁目 2 番 1 号

(72) 発明者 ヴァナガス エギディウス

東京都江戸川区西葛西 6 丁目18番14号 株

式会社東京インスツルメンツ内

(74) 代理人 100067736

弁理士 小池 晃 (外 3 名)

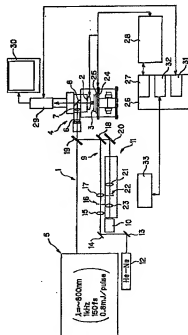
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ微細加工用オートフォーカス装置

## (57) 【要約】

【課題】 レーザによる微細加工において、加工用レーザー光束の焦点を試料における加工位置に対して正確に一致させることができるようにし、レーザー加工の精度を向上させる。

【解決手段】 加工用レーザー光束 1 を対物レンズ 2 により試料 3 に対して集光して照射するレーザー加工光学系 4 と、測定用レーザー光束 9 を対物レンズ 2 により試料 3 に対して集光して照射し反射光をディテクタ 10 により検出する共焦点光学系 11 とを備える。試料 3 を X Y Z ステージ 24 により移動操作し、試料 3 上の各点について、ディテクタ 10 の出力が極大となる位置を合焦位置とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 加工用レーザ光束を対物レンズを介して集光し、試料に対して照射することにより、該試料に対する微細加工を行うレーザ加工光学系と、測定用レーザ光束を上記対物レンズを介して上記試料上に集光させ、この測定用レーザ光束の該試料により反射、または、散乱された光束を結像させ、この結像光を反射光量測定手段により検出する共焦点光学系と、上記試料を上記対物レンズの光軸に対して垂直な平面内において移動操作する移動操作手段と、上記対物レンズと上記試料との相対距離を調整する焦点調節手段と、上記移動操作手段の動作を制御するとともに、上記共焦点光学系における反射光量測定手段による反射光量の測定結果に基づき、この反射光量が極大となる位置に、上記焦点調節手段の動作を制御して合焦位置を検索する制御回路部とを備え、上記制御回路部は、上記試料上の平面上の任意の三点について合焦位置を検索し、この三点についての合焦位置に基づいて、該三点により決定される平面上の任意の点についての合焦位置を算出し、上記レーザ加工光学系は、上記制御回路部により算出された合焦位置に基づいて、上記試料に対する加工を行うことを特徴とするレーザ微細加工用オートフォーカス装置。

【請求項2】 加工用レーザ光束を対物レンズを介して集光し、試料に対して照射することにより、該試料に対する微細加工を行うレーザ加工光学系と、測定用レーザ光束を上記対物レンズを介して上記試料上に集光させ、この測定用レーザ光束の該試料により反射、または、散乱された光束を結像させ、この結像光を反射光量測定手段により検出する共焦点光学系と、上記試料を上記対物レンズの光軸に対して垂直な平面内において移動操作する移動操作手段と、上記対物レンズと上記試料との相対距離を調整する焦点調節手段と、上記移動操作手段の動作を制御するとともに、上記共焦点光学系における反射光量測定手段による反射光量の測定結果に基づき、この反射光量が極大となる位置に、上記焦点調節手段の動作を制御して合焦位置を検索する制御回路部とを備え、上記制御回路部は、上記試料の複数箇所に対して微細加工を行うに際し、次にレーザ光学系による加工を行おうとする箇所について合焦位置を検索した後に、検索された合焦位置に基づいて当該箇所に対する加工を行うことを繰り返すことによって、複数箇所に対する微細加工を行うことを特徴とするレーザ微細加工用オートフォーカス装置。

【請求項3】 加工用レーザ光束を対物レンズを介して集光し、試料に対して照射することにより、該試料に対

する微細加工を行うレーザ加工光学系と、測定用レーザ光束を上記対物レンズを介して上記試料上に集光させ、この測定用レーザ光束の該試料により反射、または、散乱された光束を結像させ、この結像光を反射光量測定手段により検出する共焦点光学系と、上記試料を上記対物レンズの光軸に対して垂直な平面内において移動操作する移動操作手段と、上記対物レンズと上記試料との相対距離を調整する焦点調節手段と、上記移動操作手段の動作を制御するとともに、上記共焦点光学系における反射光量測定手段による反射光量の測定結果に基づき、この反射光量が極大となる位置に、上記焦点調節手段の動作を制御して合焦位置を検索する制御回路部とを備え、上記制御回路部は、上記試料の複数箇所に対して微細加工を行うに際し、レーザ光学系による加工を行おうとする全ての箇所について合焦位置を検索し、この検索結果を記憶し、記憶された複数箇所についての合焦位置に基づいて、複数箇所に対する加工を順次行うことを特徴とするレーザ微細加工用オートフォーカス装置。

【請求項4】 試料における各加工箇所ごとに合焦位置を記憶しておき、複数箇所についての加工の終了後に、各加工箇所に対応されて記憶された合焦位置に基づいて、共焦点光学系により、該各加工箇所ごとの加工状態の検証を行うことを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれか一に記載のレーザ微細加工用オートフォーカス装置。

【請求項5】 共焦点光学系は、測定用レーザ光源からの光束を集光させる集光手段と、この集光手段による該光束の集光点上に配置されるピンホールを有する第1のピンホールマスクと、この第1のピンホールマスクのピンホール内を通過して拡散する光束を試料上に集光させる対物レンズと、該試料により反射、または、散乱されて拡散し前記対物レンズを経た光束を分岐させる光束分岐手段と、この光束分岐手段を介して上記第1のピンホールマスクに対して共役な位置に配置され該光束分岐手段を経た光束が入射されるピンホールを有する第2のピンホールマスクと、この第2のピンホールマスクのピンホール内を通過する反射光束を受光する反射光量測定手段とを備えていることを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか一に記載のレーザ微細加工用オートフォーカス装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザ加工光学系を用いたレーザ微細加工（マイクロマシン）において、合焦位置を検出するためのレーザ微細加工用オートフォーカス装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、レーザ加工光学系を用いたレーザ

微細加工（マイクロマシン）が提案されている。このレーザ加工光学系は、例えば、フエムト秒チタンサファイアレーザなどからの出射光束を加工用レーザ光束として用い、この加工用レーザ光束を対物レンズを介して試料上に集光して照射し、この試料に対するレーザ加工を行うように構成されている。このレーザ加工によって、試料に対して、極めて微細な孔開け加工などを行うことができる。試料としては、ガラス板などを用いる。

【0003】このようなレーザ加工を正確に行うには、加工用レーザ光束の焦点を試料における所定の加工位置に対して正確に一致させる必要がある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述のようなレーザ加工光学系を用いたレーザ微細加工（マイクロマシン）においては、加工用レーザ光束の焦点を試料における加工位置に対して正確に一致させることが困難であり、このことがレーザ加工の精度の向上を困難としている。

【0005】そこで、本発明は、上述の実情に鑑みて提案されるものであって、加工用レーザ光束の焦点を試料における加工位置に対して正確に一致させることができ、レーザ加工の精度を向上させることができるレーザ微細加工用オートフォーカス装置を提供しようとするものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】上述の課題を解決するため、本発明に係るレーザ微細加工用オートフォーカス装置は、加工用レーザ光束を対物レンズを介して集光し試料に対して照射することにより該試料に対する微細加工を行うレーザ加工光学系と、測定用レーザ光束を対物レンズを介して試料上に集光させる測定用レーザ光束の該試料により反射、または、散乱された光束を結露させるこの結像光を反射光量測定手段により検出する共焦点光学系と、試料を対物レンズの光軸に対して垂直な平面内において移動操作する移動操作手段と、対物レンズと試料との相対距離を調整する焦点調節手段と、移動操作手段の動作を制御するとともに共焦点光学系における反射光量測定手段による反射光量の測定結果に基づきこの反射光量が極大となる位置に焦点調節手段の動作を制御して合焦位置を検索する制御回路部とを備えている。

【0007】そして、本発明は、このレーザ微細加工用オートフォーカス装置において、制御回路部は、試料上の平面上の任意の三点について合焦位置を検索し、この三点についての合焦位置に基づいて、該三点により決定される平面上の任意の点についての合焦位置を算出し、レーザ加工光学系は、制御回路部により算出された合焦位置に基づいて、試料に対する加工を行うことを特徴とするものである。

【0008】また、本発明は、上述のレーザ微細加工用オートフォーカス装置において、制御回路部は、試料の

複数箇所に対して微細加工を行うに際し、次にレーザ加工系による加工を行おうとする箇所について合焦位置を検索した後に、検索された合焦位置に基づいて当該箇所に対する加工を行うことを繰り返すことによって、複数箇所に対する微細加工を行うことを特徴とするものである。

【0009】さらに、本発明は、上述のレーザ微細加工用オートフォーカス装置において、制御回路部は、試料の複数箇所に対して微細加工を行うに際し、レーザ加工系による加工を行おうとする全ての箇所について合焦位置を検索し、この検索結果を記憶し、記憶された複数箇所についての合焦位置に基づいて、複数箇所に対する加工を順次行うことを特徴とするものである。

【0010】そして、本発明は、上述のレーザ微細加工用オートフォーカス装置において、共焦点光学系は、測定用レーザ光源からの光束を集光させる集光手段と、この集光手段による該光束の集光点上に配置されるピンホールを有する第1のピンホールマスクと、この第1のピンホールマスクのピンホール内を通過して拡散する光束を試料上に集光させる対物レンズと、該試料により反射、または、散乱された光束を前記対物レンズを経た光束を分岐させる光束分岐手段と、この光束分岐手段を介して上記第1のピンホールマスクに対して共役な位置に配置され該光束分岐手段を経た光束が入射されるピンホールを有する第2のピンホールマスクと、この第2のピンホールマスクのピンホール内を通過する反射光束を受光する反射光量測定手段とを備えていることとしたものである。

【0011】そして、本発明は、上述のレーザ微細加工用オートフォーカス装置において、共焦点光学系は、測定用レーザ光源からの光束を集光させる集光手段と、この集光手段による該光束の集光点上に配置されるピンホールを有する第1のピンホールマスクと、この第1のピンホールマスクのピンホール内を通過して拡散する光束を試料上に集光させる対物レンズと、該試料により反射、または、散乱された光束を前記対物レンズを経た光束を分岐させる光束分岐手段と、この光束分岐手段を介して上記第1のピンホールマスクに対して共役な位置に配置され該光束分岐手段を経た光束が入射されるピンホールを有する第2のピンホールマスクと、この第2のピンホールマスクのピンホール内を通過する反射光束を受光する反射光量測定手段とを備えていることとしたものである。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら説明する。

【0013】（1）本発明が適用されるレーザ微細加工装置（マイクロマシン）の構成

本発明に係るレーザ微細加工用オートフォーカス装置が適用されるレーザ微細加工装置（マイクロマシン）は、図1に示すように、加工用レーザ光束1を対物レンズ2を介して集光し試料3に対して照射することにより該試料3に対する微細加工を行うレーザ加工光学系4を備えている。

【0014】このレーザ加工光学系4は、例えば、フェムト秒チタンサファイアレーザなどである加工用レーザ光源5からの出射光束を加工用レーザ光束1として用い、この加工用レーザ光束1を対物レンズ2を介して試料3上に集光して照射し、この試料3に対するレーザ加

工を行う。フェムト秒チタンサファイアレーザとして、発振波長が800nm、周波数1kHz、パルス幅150fs（フェムト秒）、出力0.8mJ/pulseのものなどを使用することができる。加工用レーザ光束1は、リレーレンズ6、7及びミラー8を介して、対物レンズ2に入射される。このレーザ加工によって、試料3に対して、極めて微細な孔開け加工などを行うことができる。試料3としては、例えば、ガラス板などを用いる。

【0015】そして、このレーザ微細加工装置は、測定用レーザ光束9を対物レンズ2を介して試料3上に集光させこの測定用レーザ光束9の該試料3により反射、または、散乱された光束を結像させこの結像光を反射光量測定手段となるディテクタ10により検出する共焦点光学系11を備えている。

【0016】測定用レーザ光束9を発する測定用レーザ光源12としては、例えば、発振波長が543nmであるヘリウム-ネオン（He-Ne）レーザを使用することができる。この測定用レーザ光源12より発せられた測定用レーザ光束9は、ミラー13、14を介して集光手段となる集光レンズ15に入射され、この集光レンズ15によって、第1のピンホールマスク16のピンホール内に集光される。このピンホールを経た測定用レーザ光束9は、リレーレンズ1を経て、第1の分岐用ミラー18により反射されて、第2の分岐用ミラー19に入射する。この測定用レーザ光束9は、第2の分岐用ミラー19により反射されることによって、加工用レーザ光束1の光路に合流する。すなわち、第2の分岐用ミラー19により反射された測定用レーザ光束9は、リレーレンズ6、7及びミラー8を介して、対物レンズ2に入射される。対物レンズ2に入射された測定用レーザ光束9は、試料3上に集光され、この試料3の表面の状態によって、反射、または、散乱される。

【0017】試料3によって反射、または、散乱された測定用レーザ光束9は、対物レンズ2、ミラー8及びリレーレンズ7、6を経て、第2の分岐用ミラー19に入る。測定用レーザ光束9は、この第2の分岐用ミラー19により反射され、第1の分岐用ミラー18に戻り、この第1の分岐用ミラー18を透過して、ミラー20により反射されて、ディテクタ10に向かう光路に入る。第1の分岐用ミラー18を透過してミラー20により反射された測定用レーザ光束9は、集光レンズ21に入射され、この集光レンズ21によって、第2のピンホールマスク22のピンホール内に集光される。このピンホールを経た測定用レーザ光束9は、リレーレンズ23を経て、ディテクタ10によって受光される。

【0018】この共焦点光学系11において、第1及び第2のピンホールマスク16、22は、図2に示すように、第1の分岐用ミラー18を介して共役な位置に配置されている。すなわち、第1の分岐用ミラー18から第

1のピンホールマスク16のピンホールまでの光学距離と、第1の分岐用ミラー18から第2のピンホールマスク22のピンホールまでの光学距離とは、互いに等しい。

【0019】そして、試料3は、図1に示すように、この試料3を対物レンズ2の光軸に対して垂直な平面内において移動操作する移動操作手段となるXYZステージ24の載置台上に、吸引保持機構（バキュームチャック）25によって固定されて支持されている。このXYZステージ24は、対物レンズ2と試料3との相対距離を調整する焦点調節手段ともなっている。すなわち、XYZステージ24においては、XY平面が対物レンズ2の光軸に対して垂直な平面となっており、Z軸が対物レンズ2の光軸に平行な軸となっている。このXYZステージ24としては、ピエゾ素子を用いて載置台を移動させる構成のものを用いることができる。

【0020】なお、焦点調節手段としては、対物レンズ2をこの対物レンズの光軸方向に移動操作する移動操作機構を用いてもよい。

【0021】XYZステージ24は、制御回路部となるコンピュータ装置26により、インターフェイス27及びステージコントローラ28を介して制御される。このコンピュータ装置26は、移動操作手段としてのXYZステージ24の動作を制御するとともに、共焦点光学系11におけるディテクタ10による反射光量の測定結果に基づいて、この反射光量が極大となる位置に、焦点調節手段としてのXYZステージ24の動作を制御し、合焦位置の検索を行う。

【0022】すなわち、共焦点光学系11におけるディテクタ10より検出される反射光量は、図3に示すように、対物レンズ2と試料3との相対距離に対して、極大となる点があり、この極大点、測定用レーザ光束9の試料3の表面に対する合焦位置である。そして、コンピュータ装置26は、ディテクタ10より検出される反射光量が極大となるように、XYZステージ24のZ軸を調整するので、オートフォーカス動作が実現される。

【0023】測定用レーザ光束9と加工用レーザ光束1とは、予め波長の差がわかっており、各波長における対物レンズ2の焦点距離の差も予め知ることができるので、測定用レーザ光束9による合焦位置がわかれば、この位置に基づいて、加工用レーザ光束1についての合焦位置を決定することができる。このようにして決定される合焦位置は、誤差が10nm程度以下の精度を有して決定することができる。

【0024】また、このレーザ微細加工装置は、レーザ加工光学系4により加工されている試料の状態を観察するためのCCDカメラ29を有している。このCCDカメラ29は、XYZステージ24上の試料3を、ミラー8を通して、対物レンズ2を介して撮像する。このCC

Dカメラ29は、コンピュータ装置26により、インターフェイス31を介して制御される。このCCDカメラ29により撮像された画像は、モニタ30に表示される。

【0025】コンピュータ装置26には、インターフェイス32を介して制御されるシャッタ33が接続されている。このシャッタ33は、レーザ加工を行わないとき及び共焦点光学系11を使用しないときに、加工用レーザ光束1及び測定用レーザ光束9を遮断して、これらレーザ光束が装置の外側に出射されたり、この装置の操作者に照射されることがないようにするためのものである。

【0026】(2) 試料の表面が平面である場合のレーザ加工

このレーザ微細加工オートフォーカス装置においては、試料3の表面が平面である場合においては、コンピュータ装置26は、図4に示すように、まず、この試料3上の平面上の任意の三点A、B、Cについて、合焦位置を検索する。すると、XYZステージ24における載置台の移動量にしたがって、これら各点に対する座標を以下のように定めることができる。

【0027】

A: (X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>, Z<sub>1</sub>)

B: (X<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>, Z<sub>2</sub>)

C: (X<sub>3</sub>, Y<sub>3</sub>, Z<sub>3</sub>)

このようにして、三点A、B、Cの座標が定まると、この三点により決定される平面、すなわち、試料3の表面を、以下のようにして定義することができる。

【0028】

$$(a/k) X_1 + (b/k) Y_1 + (c/k) Z_1 = 1$$

$$(a/k) X_2 + (b/k) Y_2 + (c/k) Z_2 = 1$$

$$(a/k) X_3 + (b/k) Y_3 + (c/k) Z_3 = 1$$

これら3つの式を (a/k)、(b/k)、(c/k) について解くことにより、これらが (a<sub>0</sub>/k)、(b<sub>0</sub>/k)、(c<sub>0</sub>/k) と定まるので、三点A、B、Cにより決定される平面は、以下の式により表現できる。

【0029】

$$(a_0/k) X + (b_0/k) Y + (c_0/k) Z = 1$$

このようにして、試料3の表面が一つの平面として定義されると、この平面上の任意の点については、X座標及びY座標が与えられれば、Z座標については算出することができる。例えば、この平面上の点Dについて、その座標を (X<sub>4</sub>, Y<sub>4</sub>, Z<sub>4</sub>) とし、X<sub>4</sub> 及び Y<sub>4</sub> が既知であるとする、これを以下の式に代入することにより、未知のZ<sub>4</sub> が算出される。

【0030】 (a<sub>0</sub>/k) X<sub>4</sub> + (b<sub>0</sub>/k) Y<sub>4</sub> + (c<sub>0</sub>/k) Z<sub>4</sub> = 1

$$Z_4 = k/c_0 - (a_0/c_0) X_4 - (b_0/c_0) Y_4$$

このようにして、試料3上の任意の三点A、B、Cにつ

いての合焦位置に基づいて、試料3の表面上の任意の点Dについての合焦位置を算出することができる。レーザ加工光学系4は、コンピュータ装置26により算出された合焦位置に基づいて、試料3上の所定の位置に対する加工を行う。

【0031】このとき、測定用レーザ光束9と加工用レーザ光束1との波長の差による焦点位置の違い、及び、加工する箇所を試料3の表面からの深さについて、XYZステージ24におけるZ軸についての補正を行うことによって、加工用レーザ光束1を所定の加工位置に正確に集光させることができる。例えば、測定用レーザ光束9と加工用レーザ光束1との波長の差による焦点位置の違いがS<sub>1</sub> μmであれば、測定用レーザ光束9による合焦位置からXYZステージ24におけるZ軸をS<sub>1</sub> μm移動させ、さらに、加工する箇所を試料3の表面からS<sub>2</sub> μm移動させる。XYZステージ24におけるZ軸をS<sub>2</sub> μm移動させる。

【0032】(3) 試料の表面が曲面である場合のレーザ加工

次に、試料3の表面が曲面である場合においては、コンピュータ装置26は、図5に示すように、次にレーザ加工光学系4による加工を行おうとする箇所A、B、C、Dにおいてそれぞれ合焦位置を検索し、レーザ加工光学系4は、コンピュータ装置26により検索された合焦位置に基づいて、試料3に対する加工を行う。

【0033】すなわち、共焦点光学系11により、点Aについて合焦位置を検索し、測定用レーザ光束9と加工用レーザ光束1との波長差による焦点位置の違い、及び、加工する箇所を試料3の表面からの深さについて、XYZステージ24におけるZ軸についての補正を行い、加工用レーザ光束1により、点Aについての加工を行う。

【0034】そして、点Bについても同様に、共焦点光学系11により、点Bについて合焦位置を検索し、測定用レーザ光束9と加工用レーザ光束1との波長差による焦点位置の違い、及び、加工する箇所を試料3の表面からの深さについて、XYZステージ24におけるZ軸についての補正を行い、加工用レーザ光束1により、点Aについての加工を行う。以下、順次、点C、点Dについても、同様の動作を行い、加工用レーザ光束1による加工を行ってゆく。

【0035】このように、このレーザ微細加工オートフォーカス装置においては、コンピュータ装置26は、試料3の複数箇所に対して微細加工を行うに際し、次にレーザ光学系による加工を行おうとする箇所について合焦位置を検索した後に、検索された合焦位置に基づいて当該箇所に対する加工を行うことを繰り返すことによって、複数箇所に対する微細加工を行うことができる。

【0036】また、コンピュータ装置26は、試料3の複数箇所に対して微細加工を行うに際し、レーザ光学系

による加工を行うとする全ての箇所について順次合焦位置を検索し、この検索結果を記憶しておき、記憶された複数箇所についての合焦位置に基づいて、複数箇所に対する加工を順次行うこととしてもよい。

【0037】(4) レーザ加工の結果の検証

そして、このレーザ微細加工用オートフォーカス装置においては、上述のようにして行ったレーザ加工が、所定の加工位置に対して施されているか否かを、共焦点光学系11を用いて検証することができる。

【0038】すなわち、このレーザ微細加工用オートフォーカス装置においては、レーザ加工光学系4による加工前に、コンピュータ装置26により、各加工箇所ごとの合焦位置を記憶しておき、各加工箇所に対するレーザ加工の終了後において、各加工箇所に対応されて記憶された合焦位置に基づいて、共焦点光学系11によって、該各加工箇所ごとの加工状態の検証を行うことができる。なお、この加工状態の検証を行うときには、加工前に行われた吸引保持機構25による試料3の保持は、検証の終了まで維持しておく。

【0039】この検証を行うには、測定用レーザ光束9と加工用レーザ光束1との波長差による焦点位置の違い、及び、加工する箇所の試料3の表面からの深さについて、XYZステージ24におけるZ軸についての補正を行いながら、レーザ加工がされているはずの箇所に、共焦点光学系11による測定用レーザ光束9の焦点を一致させる。そして、ディテクタ10により検出される反射光量によって、当該箇所に予定された加工がなされているか、例えば、孔が形成されているかなどを検出することができる。

【0040】このようにして、図6に示すように、試料3の表面が曲面である場合であって、かつ、加工箇所が試料3の表面から所定の深さS2となっている場合であっても、各加工箇所E1、E2、E3、E4、E5について、順次、加工状態を検証することができる。

【0041】また、図7に示すように、試料3の表面が平面である場合においては、上述した試料3の表面である平面を定義する式に基づいても、各加工箇所E1、E2、E3、E4、E5について、順次、共焦点光学系11による測定用レーザ光束9の焦点を一致させてゆくことができ、各加工箇所の加工状態を検証することができる。

【0042】

【発明の効果】 上述のように、本発明に係るレーザ微細加工用オートフォーカス装置においては、制御回路部は、試料上の平面上の任意の三点について合焦位置を検索し、この三点についての合焦位置に基づいて、該三点により決定される平面上の任意の点についての合焦位置を算出し、レーザ加工光学系は、制御回路部により算出された合焦位置に基づいて、試料に対する加工を行う。

【0043】また、このレーザ微細加工用オートフォー

カス装置において、制御回路部は、試料の複数箇所に対して微細加工を行うに際し、次にレーザ光学系による加工を行うとする箇所について合焦位置を検索した後、検索された合焦位置に基づいて当該箇所に対する加工を行うことを繰り返すことによって、複数箇所に対する微細加工を行う。

【0044】さらに、このレーザ微細加工用オートフォーカス装置において、制御回路部は、試料の複数箇所に対して微細加工を行うに際し、レーザ光学系による加工を行うとする全ての箇所について合焦位置を検索し、この検索結果を記憶し、記憶された複数箇所についての合焦位置に基づいて、複数箇所に対する加工を順次行う。

【0045】したがって、このレーザ微細加工用オートフォーカス装置においては、加工用レーザ光束の焦点を、試料における加工位置に対して正確に一致させることができる。

【0046】そして、本発明においては、試料における各加工箇所ごとに合焦位置を記憶しておき、複数箇所についての加工の終了後に、各加工箇所に対応されて記憶された合焦位置に基づいて、共焦点光学系により、該各加工箇所ごとの加工状態の検証を行うことができる。

【0047】すなわち、本発明は、加工用レーザ光束の焦点を試料における加工位置に対して正確に一致させることができ、レーザ加工の精度を向上させることができるレーザ微細加工用オートフォーカス装置を提供することができるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るレーザ微細加工用オートフォーカス装置が適用されたレーザ微細加工装置（マイクロマシン）の構成を示すブロック図である。

【図2】上記レーザ微細加工用オートフォーカス装置の共焦点光学系の原理的構成を示す断面図である。

【図3】上記共焦点光学系において検出される反射光量の対物レンズと試料との間の距離に対する関係を示すグラフである。

【図4】上記レーザ微細加工用オートフォーカス装置における平面についての合焦位置を決定する手順を示す斜視図である。

【図5】上記レーザ微細加工用オートフォーカス装置における曲面についての合焦位置を決定する手順を示す斜視図である。

【図6】上記レーザ微細加工用オートフォーカス装置において試料の表面が曲面である場合に加工箇所の検証を行っている状態を示す断面図である。

【図7】上記レーザ微細加工用オートフォーカス装置において試料の表面が平面である場合に加工箇所の検証を行っている状態を示す断面図である。

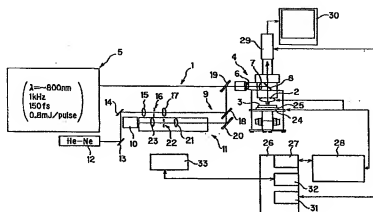
【符号の説明】

1 加工用レーザ光束、2 対物レンズ、3 試料、4

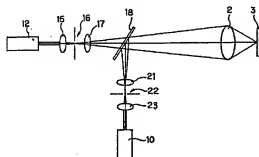
レーザ加工光学系、5 加工用レーザ光源、9 測定用レーザ光束、10 デテクタ、11 共焦点光学系、12 測定用レーザ光源、16 第1のピンホール

マスク、22 第2のピンホールマスク、24 XYZステージ、26 コンピュータ装置

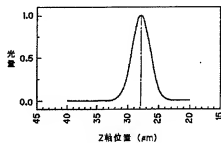
【図1】



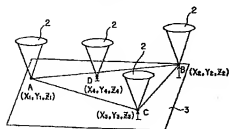
【図2】



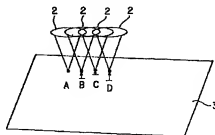
【図3】



【図4】

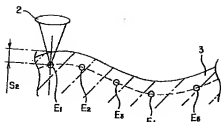


【図5】

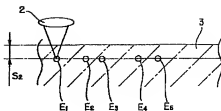




【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 クデュリヤショフ イゴーリ  
東京都江戸川区西葛西6丁目18番14号 株  
式会社東京インスツルメンツ内

(72)発明者 駿河 正次  
東京都江戸川区清新町1-4-1-305

(72)発明者 腰原 伸也  
東京都府中市本町1-12-2 オウズ御殿山  
802

Fターム(参考) 4E068 CA11 CB02 CC02